

(別紙 5)

補助事業番号 2021M-207
補助事業名 2021年度 筋骨下肢シミュレータを用いた日常動作における人工関節の耐力学特性の解明 補助事業
補助事業者名 工学院大学 桐山善守

1 研究の概要

本事業では、日常動作に対して人工関節が本来有すべき耐力学特性の解明を目的とした。そこで、ヒトの解剖学構造を精密に再現した下肢筋骨格シミュレータを開発した。また骨盤部も、3次元的な並進と回転運動を実現することで、ヒトの基本的な日常動作を再現した。このシミュレータに日動動作を行わせ、人工関節の3次元動態と力学負荷を定量的に明らかにした。

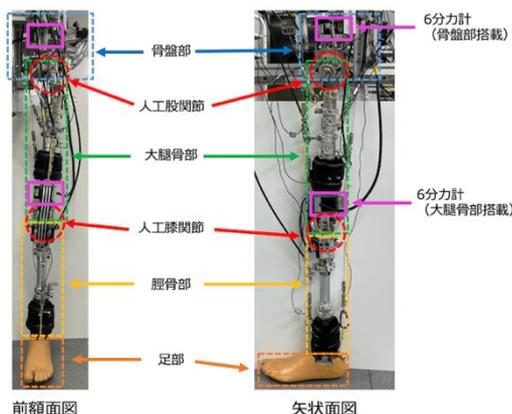
2 研究の目的と背景

下肢の人工関節は、ISOやASTMにより定義された摩耗耐久試験により評価されており、20年以上の利用が想定されている。しかし、臨床で用いられる関節の約5%が力学的原因により再置換されている。これは、日常生活動作においても、歩行などの定常かつ平均的な評価方法では再現できていない力学負荷の存在を示唆するものであるものの、その原因は明らかではなかった。この原因究明には、動作時の姿勢と生体内で人工関節に生じる力学的負担の同時・定量的評価が必要不可欠であるものの、生体計測や屍体実験では実現が容易でなかった。これに対し、ヒトの筋骨格構造を再現したシミュレータであれば、運動だけでなく内部に作用する力学的負担も直接計測することができる。そこで本研究では、筋に模したワイヤで動作時の筋張力を再現し、シミュレータにヒトと同様の運動を行かせた際に人工関節に生じる力学負荷を明らかにすることで、人工関節の耐力学特性の解明を目的とする。

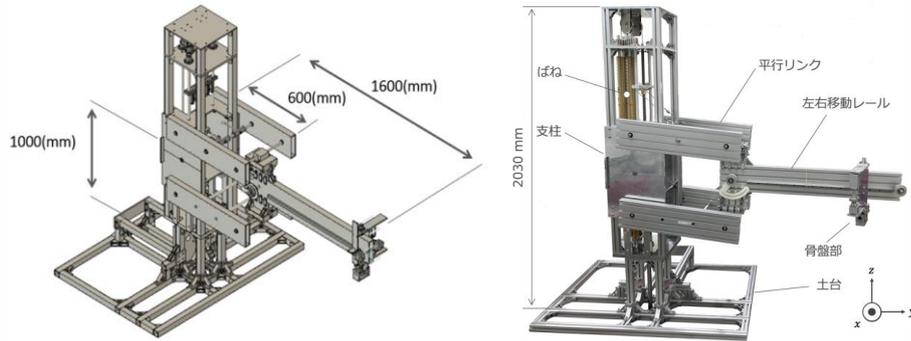
3 研究内容

(1) 筋骨格下肢シミュレータおよび骨盤位置・姿勢制御リフターの開発

(<http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwa1063/Bio3lab/simulator.html>)



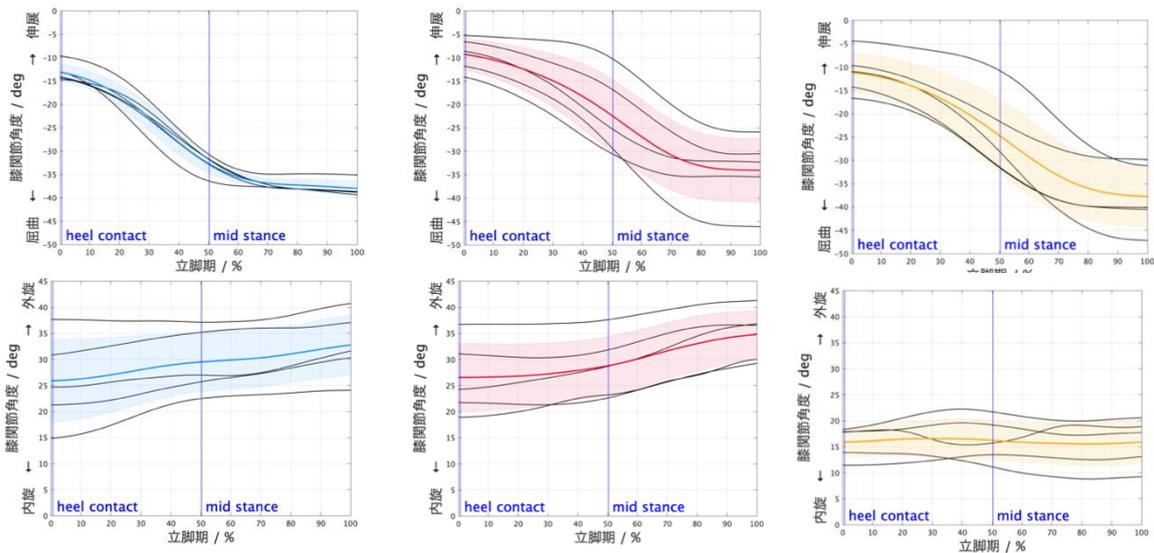
筋骨格カシシミュレータ(左：正面図，右：側面図)



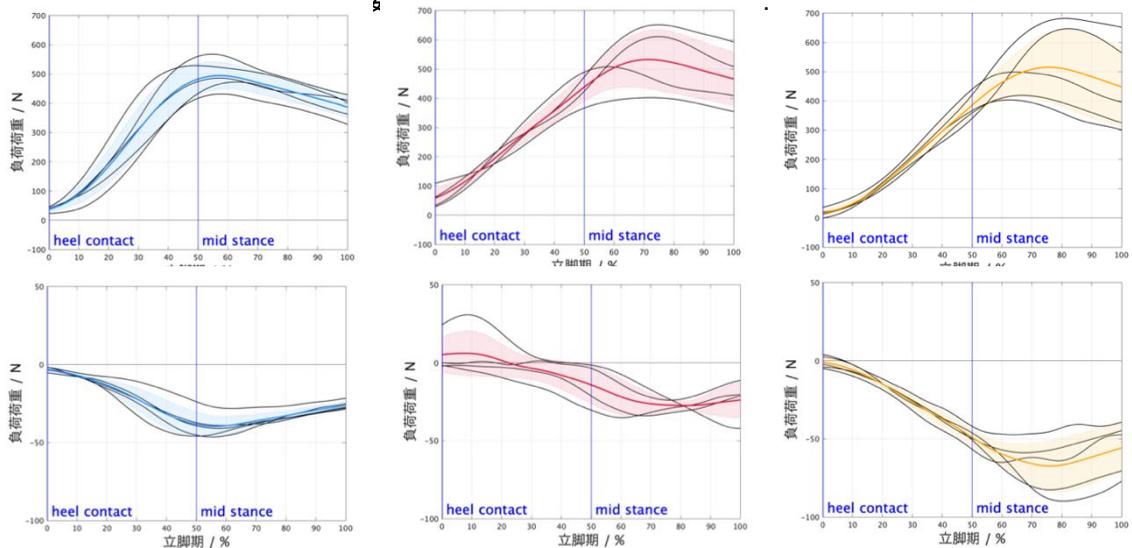
リフター(左：組み立て図，右：完成図)

(2)筋骨下肢シミュレータを用いた日常動作における人工関節の耐力学特性の解明の調査
 関節運動と力学負荷の関係に関する研究

(<http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wawa1063/Bio3lab/simulator.html>)



膝関節角度 (上段：屈曲，下段：内外旋，



膝関節荷重 (上段：垂直，下段：内外側，

左列：通常接地，中央列：外旋接地，右列：内旋接地)

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

人工関節に本来要求されるべき力学特性が明らかになれば、新たな力学評価方法の確立を実現することができる。この結果、現在の性能をはるかに上回る次世代の人工関節の開発が可能となる。人工関節の寿命が20年以上となれば手術年齢が引き下げられることになり、若年者からの手術適応が期待できる。より早い年齢で手術が可能となることで、活発で活動的な生活を獲得することにもつながりADLの向上を実現することが可能となる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

ヒトの運動原理の解明の過程で得られた知見や技術を、医学への応用として利用してきた。本事業による成果は、医療に対する貢献を実現できたというだけでなく、ヒトの筋骨格構造に内在する知的運動原理を解明するための新たな方法論の確立ともなっている。本事業で開発したシミュレータを利用することで、ヒトの運動計測でしか得られなかった知見を、人工物を用いて獲得することを可能とする。また、ヒトの解剖学構造に基づく制御機構は、ヒトを模倣したロボットの開発やより複雑な構造を有する制御システムに対する先進的な取り組みと捉えることができ、新しい研究領域に取り組むための基礎となった。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(論文)

- (1) Tamada N. and Kiriyama Y., Effects of external signals of neural oscillator stability, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol.17, No.4, 2022.
- (2) Kitta, Y., Kiriyama Y., Harato K., Kobayashi S., Niki Y., Matsumoto M. Nakamura M. and Nagura T., Application of in indentation sensor for the arthroscopic measurement of articular cartilage stiffness, *Journal of Engineering in Medicine*, Vol. 236(4), 566–572, 2022.

(発表)

- (3) Kiriyama Y, Evaluation of the Bi-articular Muscles during Gait using Functionally Effective Muscle Strength, 11th Asian-Pacific Conference on Biomechanics, 2–5, December, 2021 (Kyoto).
- (4) 桐山善守, 田中克昌, 人工関節評価シミュレータによる人工関節の歩行時における生体内動態の再現, 日本機械学会 関東支部講演会, 14–15, 3月, 2021 (東京).
- (5) 野口宙暉, 田中克昌, 桐山善守, 人工関節シミュレータの骨盤位置・姿勢制御リフターの開発, 日本機械学会 関東支部講演会, 14–15, 3月, 2021 (東京)
- (6) 桐山善守, 萩原拓己, 田中克昌, 高橋康仁, 山本謙吾, 筋骨格下肢人工関節評価シミュレータを用いた歩行時における人工関節の荷重中心位置の解析, LIFE2022, 8月19–21日, 2022 (札幌).

(別紙 5)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

筋骨格下肢シミュレータおよび骨盤位置・姿勢制御リフター

(<http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wawa1063/Bio3lab/simulator.html>)

筋骨下肢シミュレータを用いた日常動作における人工関節の耐力学特性の解明に関する報告書

(http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wawa1063/Bio3lab/images_simulator/2021_report.pdf)

<p style="text-align: center;">2021年度 筋骨下肢シミュレータを用いた日常動作における 人工関節の耐力学特性の解明に関する報告書</p> <p style="text-align: center;">筋骨下肢シミュレータを用いた日常動作における 人工関節の耐力学特性の解明 補助事業 (2021・2021年度 2年)</p> <p style="text-align: center;">工学院大学 工学部機械システム工学科 教授 桐山善守</p> <p style="text-align: center;"> この報告は特種な種類により作成されました。 http://jpa-cyber.jp</p>	<p style="text-align: center;">目次</p> <p>第1章 序論 1</p> <p>1.1 研究背景 2</p> <p>1.1.1 日本の高齢化と関節疾患患者の増加 2</p> <p>1.1.2 人工関節置換術 3</p> <p>1.2 筋骨シミュレータの利点と人工関節の解明 4</p> <p>1.2.1 シミュレーションによる評価 4</p> <p>1.2.2 数値力学モデルによる解析 5</p> <p>1.3 人工関節シミュレータによる人工関節の解明 6</p> <p>1.3.1 人工関節シミュレータの主要な課題 6</p> <p>1.3.2 使用可能な人工関節シミュレータ 7</p> <p>1.3.3 本報告による下肢人工関節シミュレータ 8</p> <p>1.4 本日の実行計画 9</p> <p>1.4.1 実行期間 9</p> <p>1.4.2 実行変数による実行計画への影響 10</p> <p>1.5 研究方針 11</p> <p>第2章 方法 12</p> <p>2.1 研究の概要 13</p> <p>2.2 下肢人工関節シミュレータの構成 14</p> <p>2.2.1 筋骨特性の構築 14</p> <p>2.2.2 関節位置と接触 19</p> <p>2.3 下肢人工関節シミュレータの制御 22</p> <p>2.3.1 制御法の概要 22</p> <p>2.3.2 軌道の生成 24</p> <p>2.3.3 制御システムのPID制御の設計 25</p> <p>2.3.4 下肢動作特性の導引制御 27</p> <p>2.4 下肢人工関節シミュレータの検証 29</p> <p>2.4.1 再現された筋力 29</p> <p>2.4.2 再現された筋力シミュレータの検証 31</p> <p>2.5 筋力の変化 31</p> <p>2.5.1 下肢人工関節シミュレータと実験との比較 31</p> <p>2.5.2 下肢人工関節シミュレータの筋力入力データ抽出 32</p> <p>2.6 計算方法 34</p> <p>2.6.1 実学式モデルシミュレーション 34</p>	<p>2.6.2 マークの付着位置と各部分の座標系の作成 36</p> <p>2.6.3 関節角度と角度の導出 41</p> <p>2.6.4 COMと重心と重心位置による計算 44</p> <p>2.6.5 6方向の力の検証 48</p> <p>2.7 評価方法 51</p> <p>2.7.1 関節角度 51</p> <p>2.7.2 シミュレーション中の下肢姿勢 52</p> <p>2.7.3 シミュレーション動作時の筋力 54</p> <p>2.7.4 シミュレーション動作時の筋力 54</p> <p>2.7.5 シミュレーション動作時の関節角度 54</p> <p>2.7.6 シミュレーション動作時の人工関節への負荷 54</p> <p>第3章 結果 55</p> <p>3.1 関節角度の経時変化 56</p> <p>3.2 実行期間中のシミュレーションの関節角度 57</p> <p>3.3 シミュレーション動作における筋力 59</p> <p>3.4 シミュレーション動作時の筋力 61</p> <p>3.5 シミュレーション動作時の関節角度 65</p> <p>3.5.1 関節角度 65</p> <p>3.5.2 関節角度 69</p> <p>3.5.3 関節角度 73</p> <p>3.5.4 関節角度 77</p> <p>3.5.5 関節角度 81</p> <p>3.5.6 関節角度 85</p> <p>3.5.7 関節角度 89</p> <p>第4章 考察 93</p> <p>4.1 シミュレーションによる実行動作の再現度 94</p> <p>4.1.1 シミュレーション動作時の筋力 94</p> <p>4.1.2 筋力の変化 96</p> <p>4.1.3 関節角度の変化 98</p> <p>4.2 関節角度による影響 99</p> <p>4.2.1 関節角度 99</p> <p>4.2.2 関節角度 100</p> <p>4.3 本報告の限界 101</p> <p>4.3.1 本報告の限界 101</p> <p>第5章 結論 102</p>
---	---	---

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの 特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 工学院大学 工学部 (コウガクインダイガク コウガクブ)

住所： 〒160-0023

東京都新宿区西新宿1-24-2

担当者： 教授 桐山善守 (キリヤマヨシモリ)

担当部署： 工学院大学 研究推進課 (コウガクインダイガク ケンキュウスイシンカ)

E-mail: kiriyama@cc.kogakuin.ac.jp

URL: <http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wawa1063/Bio3lab/index.html>